

Maquinas eléctricas

- **TÉCNICO EN EQUIPOS E INSTALACIONES ELECTROMECAÑICAS**
- **EPET N° 3 “POLONIA” OBERA**

LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

- **Institución : EPET N° 3 “Polonia” Oberá**
- **TÉCNICO EN EQUIPOS E INSTALACIONES ELECTROMECÁNICAS**
- **Carga horaria 96 horas reloj**
- **Ubicación : 5º año**
- **Contenidos mínimos**
- **Prácticas de laboratorio**
- **Profesor : Olsson Jorge Alberto**

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA:

Interacción entre corriente eléctrica y campo magnético

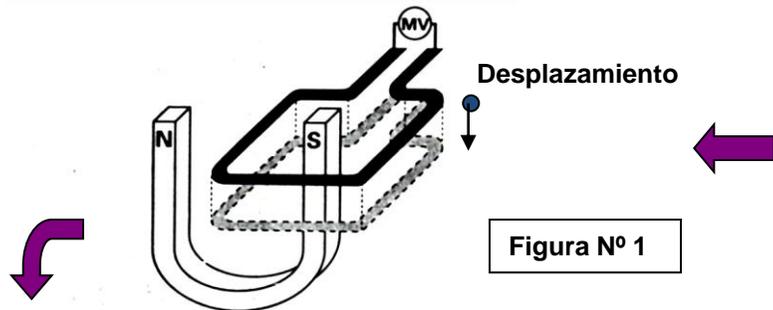
- Apunte en base al libro:
- “ELECTROTECNIA”
- de Pablo Alcalde San Miguel

Interacción entre la Corriente Eléctrica y Campo Magnético - Leyes y Principios Físicos

En las hojas siguientes profundizaremos los fenómenos físicos debidos a los conceptos de Magnetismo y Electromagnetismo ya analizados anteriormente, pero ahora en relación con su utilidad y aplicación práctica dentro del espacio general de la Tecnología y en particular sobre los componentes, instalaciones y equipos electromecánicos.-

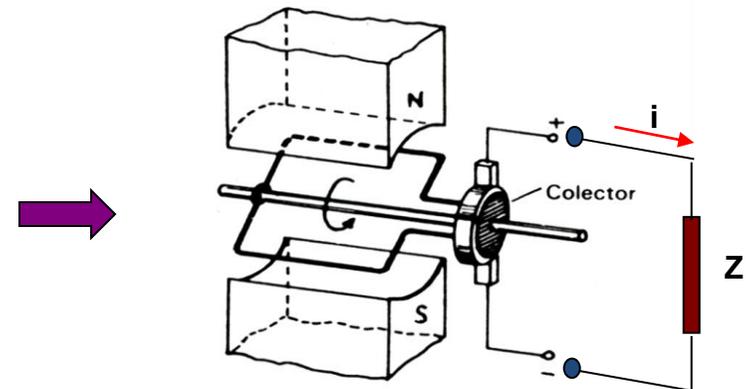
Inducción Electromagnética:

En este caso nos referiremos a producción de electricidad por acción magnética, es decir: **el movimiento de un conductor dentro de un campo magnético que da lugar a la aparición de una Fuerza Electromotriz (Fem) la cual se manifiesta como una tensión eléctrica en los extremos del conductor.-** (Figura N° 1)



La Figura N° 1 nos muestra una espira conductora que se desplaza en el interior del Campo Magnético producido por el imán. En sus extremos se ha colocado un voltímetro en el cual puede constatarse la Fem que se induce en la espira; en este caso, la lectura es una tensión del orden de los milivoltios.-

Una aplicación característica de este fenómeno físico lo constituyen los generadores de Corriente Continua (denominados “Dínamos”). En la Figura N° 2 representamos esquemáticamente un generador tal como el mencionado. Los conductores que conforman el “Rotor” del generador producen una Fem al moverse (girar) dentro del Campo Magnético establecido por el “Estator” (fijo) de la dinamo. Si colocamos un elemento de consumo (carga) en los extremos de la espira rotativa, **aparecerá una corriente eléctrica** la cuál se “extrae” del generador a través de un **anillo metálico partido (denominado “Delga”)**; el cual compone el “Colector” del generador. Sobre las “Delgas” apoyan unos contactos deslizantes llamados “Escobillas”, habitualmente construidos de grafito, y desde los cuales salen los conductores que alimentan a la carga eléctrica (Z) que alimenta el generador.-



EXPERIENCIA DE FARADAY - LEY DE FARADAY.-

Esta ley física es una de las más importantes leyes dentro de los fenómenos electromagnéticos; su posterior aplicación tecnológica dio origen a los motores, generadores y transformadores eléctricos; establece 3 tipos de relaciones fundamentales entre Fuerza Electromotriz, Corriente Eléctrica y Campo Magnético. Estas relaciones son:

- Se puede generar una Fem moviendo un conductor que corte Líneas de Fuerza dentro de un campo magnético (imán o electroimán) .-
- Se puede generar una Fem moviendo las Líneas de Fuerza de un campo magnético (imán o electroimán) de manera que sean cortadas por un conductor alojado en el interior del campo.-
- Se puede generar una Fem mediante un Campo Magnético variable producido por una corriente también variable que circula por una bobina.-

Desarrollamos a continuación estas tres relaciones:

Experiencia de Faraday: Movimiento de un conductor en un campo magnético:

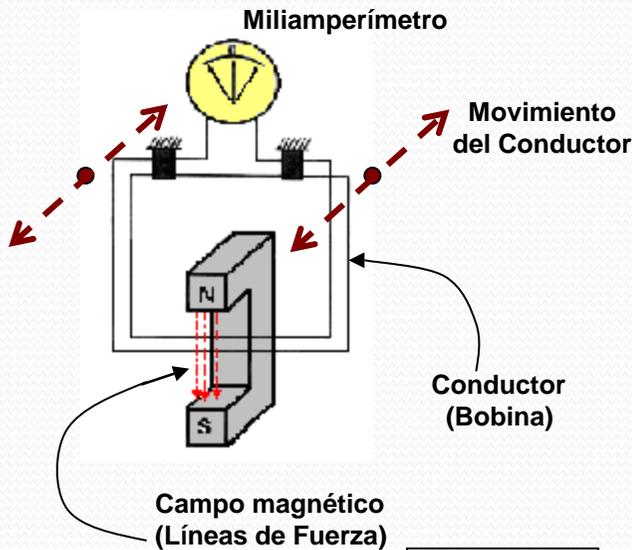


Figura Nº 3

En la Figura Nº 3: si movemos el conductor (bobina de prueba) de tal manera que corte perpendicularmente a las Líneas de Fuerza del campo generado por el imán, se puede observar que la aguja del miliamperímetro se desvía hacia un lado durante el movimiento, indicando así la circulación de una corriente eléctrica por la bobina de prueba.

Si ahora movemos la bobina en sentido contrario, la aguja del instrumento se desvía también pero hacia el lado opuesto al anterior. De esta experiencia podemos obtener las siguientes deducciones básicas:

- 1) Cuando se mueven un conductor (bobina) **tal que corte perpendicularmente a las Líneas de Fuerza** del campo, se produce una Fem inducida.-
- 2) El **sentido de la corriente** que circula por esta bobina **depende del movimiento relativo de la misma respecto del campo magnético**.-
- 3) Si el **movimiento de la bobina es paralelo a las Líneas de Fuerza** del campo **no se produce ninguna Fem inducida**.-
- 4) El **valor de la Fem inducida depende también de la velocidad relativa**, respecto del campo magnético, con la cual se mueve el conductor al cortar las Líneas de Fuerza.-
- 5) Al **aumentar el número de vueltas (espiras)** de la bobina, **aumenta también la Fem inducida**.-
- 6) También se observa que **aumentando el nivel de inducción del campo magnético**, esto es **aumentando el valor de "B"**, también **aumenta el valor de la Fem inducida**.-

continuación Experiencia de Faraday: Movimiento de un conductor en un campo magnético:

De la descripción y observaciones obtenidas en la experiencia anterior, podemos sintetizar que: **el valor de la Fem inducida que se produce en una bobina (el conductor), cuando en su movimiento corta perpendicularmente a las Líneas de Fuerza de un campo magnético regular**, puede obtenerse mediante la siguiente expresión matemática:

$$(1) \quad e_{\text{ind}} = N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$



Expresión en la cual tenemos que:

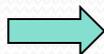
e_{ind} = Fem inducida (voltios).-

N = número de vueltas o espiras de la bobina.-

$\Delta\Phi / \Delta t$ = variación del flujo cortado por la bobina respecto al tiempo (rapidez de variación del flujo magnético en los conductores).-

Otra forma de expresar la ecuación N° 1 anterior, y quizás una de las formas de uso más habitual en las consideraciones técnicas, se obtiene reemplazando alguno de los términos por las expresiones vistas en Magnetismo y Electromagnetismo así como también la relación entre velocidad y tiempo estudiada en Cinemática; si aplicamos a la "N° 1" estas relaciones obtenemos lo siguiente:

$$(2) \quad e_{\text{ind}} = B \cdot L \cdot v$$



Expresión en la cual tenemos que:

e_{ind} = Fem inducida (voltios).-

B = Inducción magnética (Tesla).-

L = Longitud del conductor (metros).-

v = Velocidad perpendicular a las Líneas de Fuerza del campo (m / s)

OBSERVACIONES IMPORTANTES PARA RECORDAR Y APLICAR PRÓXIMAMENTE.-

Conviene agregar que se puede generar una Fem inducida si:

- Se mueven conductores en el interior de un Campo Magnético fijo.-
- Si se mueve el Campo Magnético y se dejan fijos a los conductores.-

Pero también:

Se consigue una Fem inducida en los conductores (una bobina) si se los somete a la acción de un Campo Magnético variable, como por ejemplo, el proveniente de otra bobina la cual está alimentada por una corriente alterna.-

continuación Interacción entre la Corriente Eléctrica y Campo Magnético - Ley de Lenz (Sentido de la Fem inducida)

Esta ley física está basada en una de los Principios de Newton, particularmente en el Principio de Acción y Reacción; las experiencias realizadas por el físico alemán Lenz, establecieron que: **el sentido de la corriente inducida en un conductor es tal que tiende a oponerse a las causas que la produjo (acción y reacción).**-

Brevemente explicaremos este concepto y determinaremos una forma práctica para establecer el sentido de circulación de la corriente eléctrica y, por lo tanto, el sentido de la Fem inducida en las aplicaciones electromagnéticas.-

Este efecto se puede comprobar experimentalmente de la siguiente manera:

Si instalamos un pequeño generador o dínamo acoplado a la rueda de una bicicleta y nos ponemos a pedalear, podremos observar que no es muy grande el esfuerzo que debemos hacer para moverla; pero si luego conectamos al generador una lámpara, por ejemplo de 20 w, sentiremos que es mayor el esfuerzo que debemos hacer para mantener el movimiento de la bicicleta; este esfuerzo será aún más grande si repetimos la prueba pero en este caso con una lámpara de 40 w .

Este ensayo, nos permite comprobar experimentalmente que si los conductores (bobina del rotor) del pequeño generador se mueven dentro del campo magnético y el circuito está cerrado mediante la lámpara de 20 w, aparece una corriente eléctrica que alimenta la lámpara.

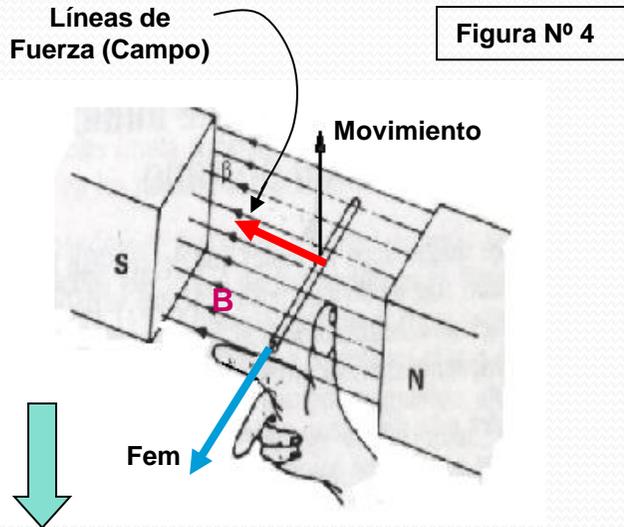
Esta corriente eléctrica, debida a la carga de 20 w, genera a su vez un campo magnético que tiende a oponerse al campo inductor producido por el generador.

Así, si el campo inductor tendiese a crecer, la corriente inducida en los conductores generará un campo magnético de sentido contrario que tendería a contrarrestar el aumento.

En el caso del generador de la bicicleta se observa que cuando aumenta la corriente por los conductores (situaciones: circuito abierto - lámpara de 20 w - lámpara de 40w) aumenta la resistencia al movimiento de los mismos lo que se traduce en un mayor esfuerzo de pedaleo.

continuación Interacción entre la Corriente Eléctrica y Campo Magnético - Ley de Lenz (Sentido de la Fem inducida)

Para determinar el sentido de la corriente eléctrica inducida y como consecuencia el sentido de la Fem inducida tal como lo describimos en la hoja anterior resulta, en la práctica, un poco difícil mediante la Ley de Lenz; una manera más fácil y rápida de establecer dicho sentido es por medio de la "**Regla de Fleming o Regla de la Mano Derecha**" la cual ya hemos visto en los temas anteriores. Aplicada esta regla al caso de la Ley de Lenz, adopta las siguientes características (ver Figuras N° 4 y N° 5)



La aplicación de la Regla de la Mano Derecha se realiza de la siguiente manera (Figura N° 4):

EL DEDO PULGAR: se coloca en ángulo recto con respecto al resto de la mano; indica el sentido de desplazamiento (movimiento) de los conductores.-

EL DEDO ÍNDICE: se coloca perpendicular al dedo pulgar e indica el sentido del flujo (sentido de las L. de F.) en el campo magnético.-

EL DEDO MAYOR: se coloca en un plano perpendicular al formado por los dedos pulgar e índice; y nos indica el sentido de la corriente inducida (sentido convencional de la corriente), y por lo tanto de la Fem inducida, al mover el conductor dentro del campo magnético.-

Una manera sencilla de recordar las variables que representan cada dedo en esta Regla (ver Figura N° 5) es mediante la siguiente frase nemotécnica: **Mov-Cam-Cor**, en la cual es:

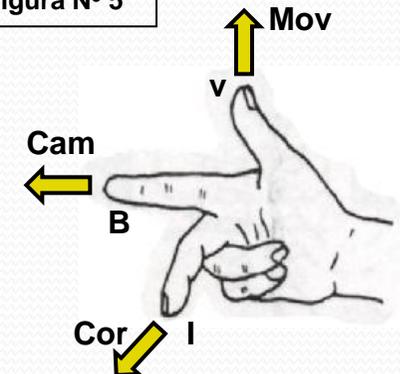
Mov = Movimiento **Cam = Campo** **Cor = Corriente**

Esta sencilla regla nos permite, además, establecer lo siguiente:

a) Si el generador gira en sentido contrario se invierte la polaridad de la Fem inducida y por lo tanto el sentido de circulación de la corriente eléctrica a través de la carga conectada en sus bornes.-

b) Si se invierte ahora la polaridad del campo magnético (invirtiendo los polos) también obtendremos una inversión del sentido de circulación de la corriente y, obviamente, de la polaridad de la Fem inducida.

Figura N° 5

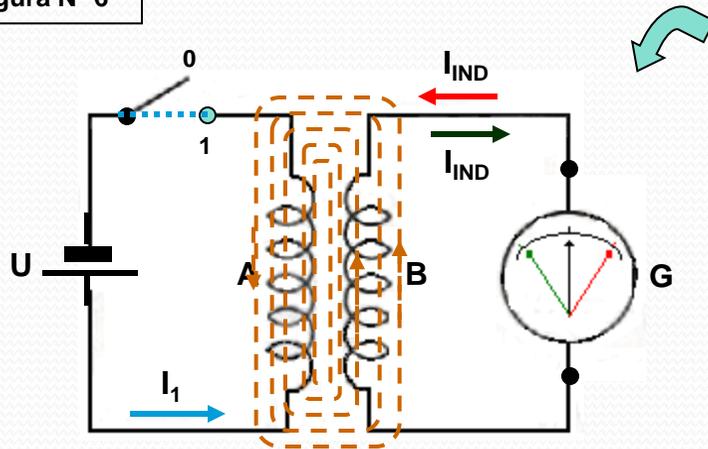


continuación Interacción entre la Corriente Eléctrica y Campo Magnético - Fem inducida en Circuitos Próximos

En las hojas anteriores mencionamos que también podíamos producir una Fem inducida mediante un Campo Magnético variable; indicamos también que para ello, era necesario que por el conductor (bobina) circulara una corriente de intensidad también variable.

Si colocamos a distancias relativamente pequeñas de este conductor recorrido por la corriente de intensidad variable, otros conductores, podremos observar que en estos últimos aparece también una Fem inducida, la cual podremos evidenciar si colocamos un milivoltímetro entre sus extremos (ver Figura N° 6). Describiremos a continuación esta experiencia.

Figura N° 6



DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA.- 1º PARTE

Se colocan dos bobinas, una muy cerca de la otra, tal como indica la Figura N° 6. En los extremos de la Bobina "B" conectamos un Galvanómetro de "Cero Central". A su vez, conectamos la bobina "A" a una fuente de CC (fuente "U" en la figura). Al cerrar el interruptor en la bobina A, se observa que el Galvanómetro acusa la circulación de una pequeña corriente por la bobina B la cual sólo se manifiesta durante un corto período de tiempo.

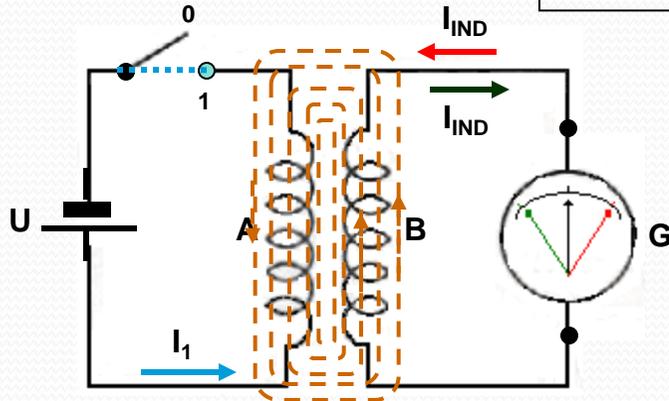
Si ahora abrimos el interruptor podremos comprobar que el galvanómetro nuevamente detecta el paso de una corriente por la bobina B pero ahora ésta tiene sentido contrario a la anterior.

Nos preguntamos: ¿porqué sucede esto?: la respuesta la encontramos en los conceptos de inducción electromagnética.

Al cerrar el interruptor aparece por la bobina A una corriente que tiende a crecer desde 0 hasta su valor nominal; esto origina en la misma un campo magnético variable y creciente. Estando la bobina B muy cerca de la bobina A, el campo magnético la atraviesa produciéndose el principio de inducción electromagnética dando como resultado la aparición de una FEM y una corriente eléctrica en la bobina B. Esta corriente sólo se manifiesta mientras el campo sea variable; es decir mientras la corriente en la bobina A está creciendo luego de cerrar el interruptor y durante un breve lapso de tiempo. Al abrir el interruptor el proceso se repite pero en sentido inverso, en efecto, la corriente en la bobina A comienza a decrecer lo mismo que el campo magnético generado por ella. Nuevamente en la bobina B aparece una FEM de inducción mientras el campo generado por la bobina A sea variable (decreciente en este caso); El galvanómetro acusa el paso de una corriente eléctrica por la bobina B pero, como ya mencionamos, es de sentido contrario a la registrada cuando se cerraba el interruptor (la aguja del galvanómetro se mueve en sentido opuesto); esta observación se explica claramente por la Ley de Lenz.

continuación Interacción entre la Corriente Eléctrica y Campo Magnético - Fem inducida en Circuitos Próximos

Figura N° 7



DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA.- 2º PARTE

En este segundo ensayo, sustituimos la fuente de tensión continua por una fuente de tensión alterna (CA); y el galvanómetro por un voltímetro de CA (ver Figura N° 7).

Al cerrar el interruptor del circuito de la bobina A, podremos observar que el voltímetro conectado al circuito de la bobina B indica un cierto valor de tensión.

Si repetimos el ensayo pero ahora cambiamos la bobina B inicial por otra de mayor número de espiras (N), podremos observar que el voltímetro acusa en esta nueva medición una tensión mayor de salida que en el ensayo anterior.

La explicación a estas observaciones nuevamente la encontramos en el fenómeno de inducción electromagnética. Ahora, la bobina A es recorrida por una corriente variable (CA) la cual produce, a su vez, un campo magnético también variable que atraviesa en todo momento a las espiras de la bobina B. Como consecuencia de esto último, en esta bobina se produce constantemente una FEM de inducción. Si aumentamos el número de espiras en la bobina B, obviamente la FEM inducida en esta bobina también aumentará.

Este principio tiene su aplicación tecnológica en el funcionamiento de los transformadores eléctricos de uso ampliamente difundido en la transmisión, distribución y alimentación de energía eléctrica; así como en el funcionamiento de innumerables artefactos electrónicos y en ciertos electrodomésticos.

De igual manera, nos permite dar explicación a muchos otros fenómenos físicos que aparecen en torno a las corrientes y campos magnéticos variables.

Por ejemplo, se puede comprender porqué es peligroso acercarse a elementos y componentes conductores que se encuentren en las cercanías de líneas de transporte de energía eléctrica de alta y muy alta tensión.

En estos casos, sucede que los fuertes campos magnéticos variables producidos por los conductores de las líneas se establecen en un determinado radio de acción alrededor de los conductores e inducen una elevada FEM en aquellos componentes y elementos conductores que atraviesan sus Líneas de Fuerza.

Para evitar estos riesgos, se recomienda (y está reglamentado, por cierto) conectar a tierra todos los elementos y componentes metálicos potencialmente conductores de la corriente eléctrica que se encuentren en sus proximidades.

continuación Interacción entre la Corriente Eléctrica y Campo Magnético - Bobinas y Autoinducción

Probablemente habrás podido observar en diversas ocasiones que **al abrir los contactos de un interruptor eléctrico aparece en los mimos un arco eléctrico o "chispa" de ruptura**; este arco o chispa de ruptura es mucho más intenso cuando el interruptor corta la corriente de alimentación de algún elemento eléctrico que posea bobinados (motores, transformadores, etc.)

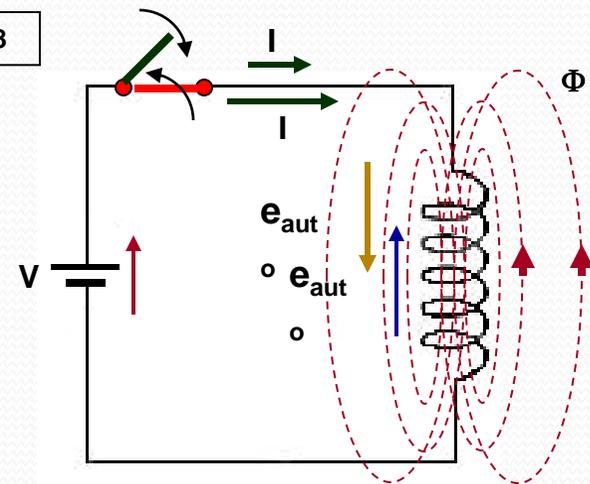
Este efecto se debe al fenómeno físico denominado "**Autoinducción**". El término "**Autoinducción**" significa, en relación a las bobinas, **inducirse una FEM a sí misma**. Al estudiar la Ley de Lenz (2º parte de la experiencia), determinamos que una bobina genera un campo magnético el cual, si era variable al igual que la corriente que lo producía, podía inducir una FEM en otra bobina próxima cuyas espiras eran cortadas por las Líneas de Fuerza de este campo magnético. A continuación, **veremos los efectos de este campo magnético variable, ya no sobre otra bobina próxima sino sobre la misma bobina que lo genera.**

...entonces, la pregunta del millón es:
¿Qué sucede en la bobina que genera el campo magnético variable? ...¿eehh....?

CONCEPTO INICIAL.-

Cuando por una bobina circula una corriente eléctrica variable ésta genera, a su vez, un campo magnético variable que corta a los conductores de la propia bobina de manera que en los mismos se genera una FEM de autoinducción la cual, obedeciendo a la Ley de Lenz, siempre se opondrá a la causa que la produjo.

Figura N° 8



SE CIERRA EL INTERRUPTOR:

Aparece una corriente en la bobina que va creciendo desde 0 hasta su valor nominal durante un pequeño lapso de tiempo. Esta variación genera un flujo magnético también creciente, que al cortar a las espiras de la propia bobina, permite la aparición de una FEM de autoinducción que, según la Ley de Lenz, tiene un sentido tal que tiende a impedir que el flujo magnético se establezca. Por lo tanto, la intensidad de corriente sufre un **RETRASO**; la FEM de autoinducción **tiende a restar los efectos de la fuente de tensión "V"**. **Cuando la intensidad se estabiliza en su valor nominal, DESAPARECE la FEM de autoinducción y, obviamente, el flujo magnético.**

SE ABRE EL INTERRUPTOR:

La corriente comienza a disminuir y, por lo tanto, el flujo magnético tiende a desaparecer. Esto origina una FEM de autoinducción de tal sentido (contrario al anterior) que no deja que ni el flujo ni la corriente desaparezcan. En este caso, la FEM tiende a **SUMARSE** a los efectos de la fuente de tensión "V". Así, a medida que la corriente vuelve a 0, la FEM, Ley de Lenz mediante, intentará que aumente el flujo para mantener el valor de la corriente en la bobina. Puesto que la FEM se suma a la tensión de la fuente de alimentación, la tensión total en el circuito toma un valor mayor y es por ello que se producen los arcos de ruptura al abrir el interruptor. El valor de la FEM **AUMENTA** cuanto más rápido operamos el interruptor o bien, cuanto mejor sea la capacidad de la bobina para generar el flujo.

Como vimos en la hoja anterior, independientemente de la forma o manera con la cual se generan las variaciones del flujo magnético en una bobina, aparecerá en ella un Fem autoinducida debida a que las Líneas de Fuerza cortan a las propias espiras de la bobina durante las variaciones de dicho campo magnético. Ahora bien, también observamos que el valor de esta Fem dependía de la “rapidez” de variación del Flujo (Φ), originado por el campo, en el núcleo ferromagnético de la bobina.

Por otro lado, el valor de esta Fem Autoinducida, también dependerá de las características propias de la bobina tales como: cantidad de espiras, longitud media y sección o área del núcleo; las cuales nos dan una referencia acerca de la capacidad que tiene una bobina determinada para generar Flujo Magnético (recordar conceptos anteriores de Flujo, Campo Magnético, Inducción, Intensidad de campo, Líneas de Fuerza, etc.).

Ahora bien, puesto que las bobinas y el fenómeno de autoinducción tienen amplia aplicación en la industria y en los artefactos eléctricos cotidianos, los fabricantes de bobinados sintetizan todas las variables características de las bobinas, es decir la capacidad que tiene cada tipo de bobinado de generar flujo magnético en un valor determinado para cada bobina llamado: “Coeficiente de Autoinducción” (L). Veamos cómo se obtiene:

1º Análisis:

Establecimos anteriormente que la Fem autoinducida dependía de la RAPIDEZ con que cambia el flujo en el tiempo; en consecuencia será:



$$e_{\text{auto}} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (\text{A})$$



2º Análisis:

Las características de la bobina determinan su capacidad de generar flujo, por lo tanto la Fem autoinducida tomará uno u otro valor; en consecuencia, es necesario introducir en la ecuación (A) algún coeficiente que nos relacione las características de la bobina con el valor de la Fem que ella es capaz de generarse a sí misma; este coeficiente lo indicamos mediante la letra “L” y por lo tanto la ecuación (A) reordenada nos queda:

(B)

$$e_{\text{auto}} = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$



L = Coeficiente de Autoinducción Unidad: Henrios [H]

Continuamos con el análisis:

3º Análisis:

Puesto que en ambas ecuaciones la **Fem autoinducida** es la misma, podemos igualar los segundos miembros de estas ecuaciones obteniendo entonces:

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = L_1 \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (C)$$

Realizando pasaje de términos y cancelando Δt , obtenemos

$$\Delta\Phi = L_1 \cdot \Delta I$$

Despejando el valor del Coeficiente de Autoinducción "L", nos queda:

$$L_1 = \frac{\Delta\Phi}{\Delta I}$$

Este valor de "L₁" indicado en las ecuaciones anteriores correspondería al de una bobina que posea **una espira**; para una bobina cualquiera que posea "**N**" espiras (o vueltas) de conductor, el coeficiente de autoinducción "L" se obtiene mediante:

$$L = N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta I}$$

Cancelando los incrementos "Δ" del flujo y la Intensidad de corriente, resulta finalmente que:

$$L = N \cdot \frac{\Phi}{I} \quad (D)$$

Podemos deducir de la ecuación "D" que: el coeficiente de autoinducción "L" de una bobina se puede expresar como la relación entre el **Flujo Magnético** generado por la misma y la **Intensidad** de la corriente que ha sido necesaria aplicar para generarlo.

Como ya mencionamos al inicio, el coeficiente de autoinducción depende de las características constructivas de la bobina ; se pueden conseguir coeficientes de autoinducción "L" de valor muy elevado con núcleos de alta permeabilidad (μ) y gran número de espiras (N).-

continuación Interacción entre la Corriente Eléctrica y Campo Magnético - Fuerza sobre una Corriente Eléctrica

En un generador eléctrico se produce una Fem cuando se mueven conductores en el interior de un Campo Magnético, pues bien, en los motores eléctrico sucede exactamente el fenómeno contrario. En efecto, anticipemos que cuando un conductor se encuentra en el interior de un campo magnético y por él hacemos circular una corriente eléctrica, aparecen fuerzas de tipo electromagnético que tienden a desplazarlo (al conductor, claro). Veamos cómo aparecen estas fuerzas denominadas “Fuerzas Electrodinámicas o Electromagnéticas”.

Veamos la Figura N° 9:

Se puede observar en ella, un conductor eléctrico por el que circula una corriente eléctrica de intensidad “I” con sentido entrante al plano de la figura; este conductor se encuentra sometido a la acción del campo magnético de un imán. La corriente eléctrica produce a su vez, una campo magnético circular alrededor del conductor y que interactúa con el campo principal generado por el imán. El resultado de esta interacción de campos magnéticos es la aparición de una fuerza “F” que produce un desplazamiento del conductor en sentido “perpendicular” a las líneas de fuerza del campo magnético principal. En esta experiencia, sucede que las líneas de fuerza circulares generadas por la corriente en el conductor tienden a concentrarse en la parte inferior de este (del conductor) lo que provoca una fuerza sobre el conductor que tiende a desplazarlo hacia abajo. Se observa que si cambiamos el sentido de la corriente en el conductor o bien el sentido del campo, también cambia el sentido de la fuerza electrodinámica.

Figura N° 9

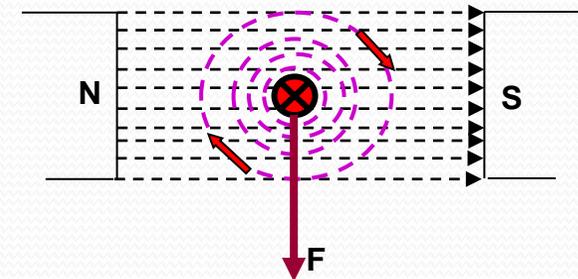
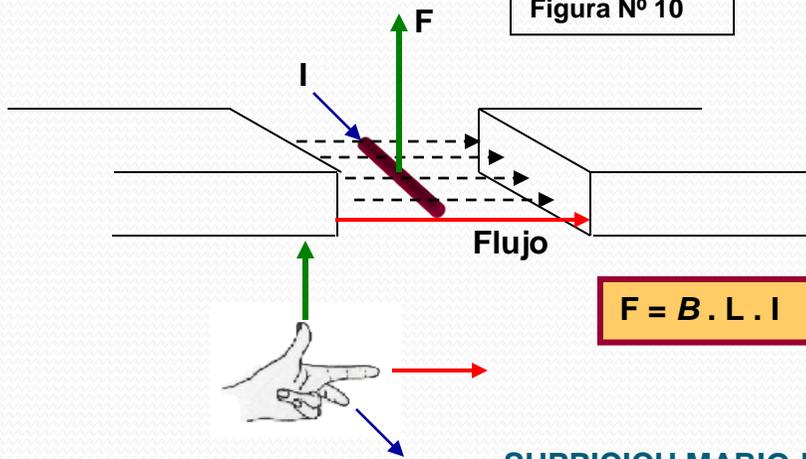


Figura N° 10



La Figura N° 10, representa la manera en que se aplica la Regla de Fleming” o “Regla de la Mano Izquierda” para determinar el sentido de la fuerza y, obviamente, el sentido del desplazamiento del conductor recorrido por la corriente de intensidad “I”. El valor (módulo) de esta fuerza se puede determinar mediante el modelo matemático siguiente (ecuación a):

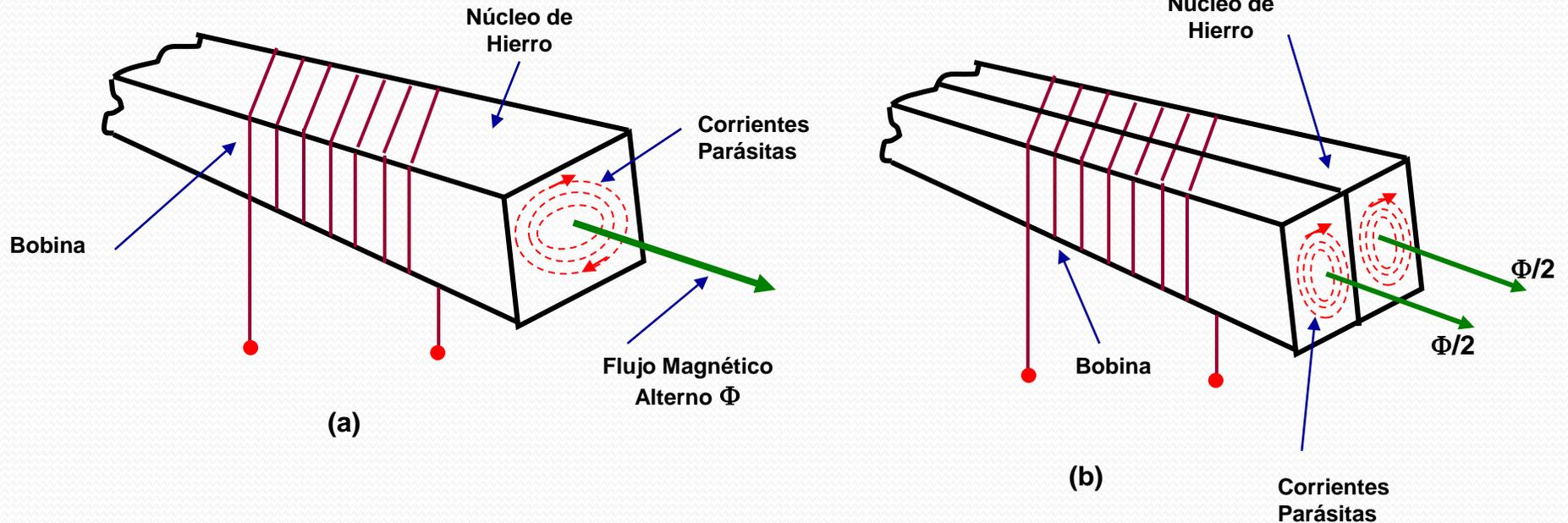
$$F = B \cdot L \cdot I \Rightarrow F = [\text{Newton}] \text{ [N]} \quad a$$

donde es:
 F = fuerza en (N)
 B = Inducción en (T)
 L = Longitud del conductor en (m)
 I = Intensidad de corriente en (A)

continuación Interacción entre la Corriente Eléctrica y Campo Magnético - Corrientes Parásitas o de Foucault

Si observas detenidamente los núcleos magnéticos de motores, transformadores, generadores, electroimanes de C.A., podrás apreciar que estos no son cuerpos macizos, sino que están constituidos por un apilamiento de chapas delgadas de material ferromagnético; esta forma constructiva de los núcleos se fundamenta en que se trata de evitar el efecto perjudicial de un fenómeno físico denominado "Corrientes Parásitas" o más exactamente: "Corrientes de Foucault". Este efecto aparece cuando se utilizan Corrientes Alternas; en efecto, en estos casos, cuando una corriente variable recorre un bobinado, el núcleo ferromagnético queda expuesto a un Campo Magnético también variable; dado que por ser un material metálico conductor, se genera en el núcleo una Fem inducida la cual produce unas corrientes de circulación por dicho núcleo. Estas corrientes de circulación en el núcleo se cierran formando cortocircuitos en las secciones transversales del mismo. Tales conceptos los graficamos en la Figura N° 11 (a y b), a continuación.

Figura N° 11 (a y b)



LA CORRIENTE ALTERNA (CA)

CONOCIMIENTOS, SABERES Y CONCEPTOS PREVIOS Y NECESARIOS:

Matemática: Ángulos complementarios y suplementarios – Sistemas de medición de ángulos (radianes, sexagesimal, equivalencias, etc.) – Triángulos - Teorema de Pitágoras – Funciones Trigonométricas (seno, coseno, tangente) – Relaciones entre funciones trigonométricas - Representación gráfica de las Funciones Trigonométricas - Vectores – Números Complejos.-

Física: Cinemática Rectilínea y Circular – Fuerza y Momento de una Fuerza – Descomposición y Composición de Fuerzas - Energía, Trabajo y Potencia – Unidades - Magnetismo y Electromagnetismo – Leyes del Magnetismo – Corriente continua – Leyes de Ohm y Kirchoff - Tensión, Intensidad, Resistencia y Potencia Eléctrica.-

Hecha la aclaración inicial, pasamos a estudiar la generación, uso y transporte de la Corriente Alterna. Analizaremos simultáneamente las magnitudes y variables de cálculo, sus amplias y diversas aplicaciones técnicas (generadores, transformadores, motores, circuitos, instalaciones y automatismos industriales) así como sus conceptos característicos.

1) CORRIENTE ALTERNA: PRINCIPIOS BÁSICOS DE GENERACIÓN

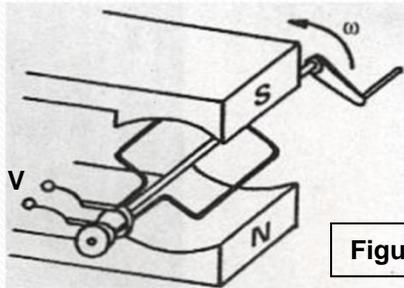


Figura N° 1

Aspecto de un generador elemental; consta de:

- Imán "N-S" que provee un campo magnético fijo.-
- Un conductor eléctrico conformando una espira la cual se encuentra colocada dentro del campo magnético.-
- Un par de anillos colectores cuyos extremos se conectan al componente de consumo o carga eléctrica.-
- Un elemento que provee la acción de giro a la espira.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO BÁSICO

Al girar la espira con una velocidad angular " ω " cortará líneas de fuerza del campo magnético "N-S" de manera que se inducirá una "F.e.m." (de inducción) indicada como una tensión "V" en los extremos de la espira conductora. Se comprueba que la tensión "V" inducida en la espira es variable (su valor) y posee una forma senoidal, tal como lo muestra la figura N° 2.

Por otro lado, vemos también que los anillos colectores están sólidamente unidos a los extremos de la espira y a través de ellos se conecta a la primera con el componente receptor eléctrico.

EN LA FIGURA N° 2 ES:

v = valor instantáneo de la tensión inducida.-
 V_{\max} = Valor máximo alcanzado por la tensión inducida
 ω = velocidad angular de giro del generador.-
 t = tiempo

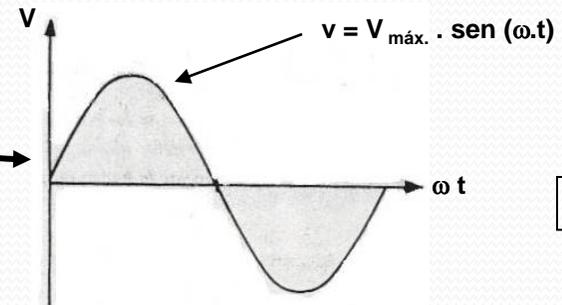


Figura N° 2

Para recordar:

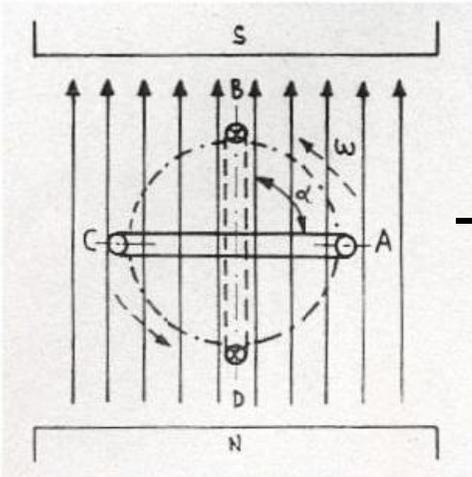
Ley de Lenz: el sentido de la corriente inducida en un conductor es tal que siempre tiende a oponerse a las causas que la producen.-

Regla de Fleming: conocida como "Regla de la Mano Derecha" y permite encontrar el sentido de una Fem o una Corriente inducida.-

2) ¿POR QUÉ INDICAMOS QUE LA ONDA DE TENSIÓN INDUCIDA ES UNA SENOIDE?.....

Observemos la Figura N° 3 en la cual representamos el mismo generador elemental desde otra perspectiva.....

Figura N° 3



Indicamos que la espira gira en el interior de un campo magnético. La velocidad angular de giro de la espira es " ω ", que mediremos en rad/seg.

En consecuencia, esta velocidad angular nos indica el ángulo girado " α " por la espira en la unidad de tiempo; es decir:

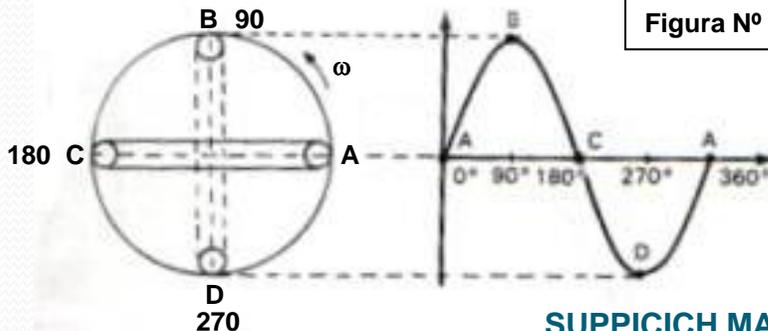
$$\omega = \alpha / t. \quad (I)$$

En su giro, los conductores de la espira cortan líneas de fuerza del campo magnético y por lo tanto aparece una "f.e.m." de inducción en los extremos de la espira; observando distintas posiciones de la espira podemos deducir que la misma no siempre corta perpendicularmente a las líneas de fuerza. En la Figura N° 3 puede observarse que sólo cuando la espira pasa por las posiciones B-D corta en forma perpendicular al campo; mientras que en las posiciones A-C la espira se mueve paralelamente a las líneas de fuerza y por lo tanto no se produce corte de las mismas; como consecuencia, en la posición A-C la "f.e.m." es nula ($v=0$).

En las restantes posiciones intermedias de la espira, si bien existe corte de las L. de F. del campo, éste corte no se produce exactamente en forma perpendicular. Nos preguntamos entonces: ¿qué f.e.m. se induce en estas posiciones intermedias?

La respuesta nos lleva a analizar la figura N° 4 y la figura N° 5

Figura N° 4



Podemos apreciar en la figura N° 4, los valores que toma la tensión inducida en la espira a medida que gira con velocidad angular " ω ".

Comparar el movimiento de la espira y la gráfica sinusoidal que representa los valores que toma la tensión mencionada para distintas posiciones.-

2) CONTINUAMOS.... ¿QUE PASA, POR LO TANTO, EN LAS POSICIONES INTERMEDIAS?.....

Analicemos qué sucede con un conductor que se desplaza en un campo magnético describiendo una trayectoria rectilínea que no es perpendicular ni paralela a las líneas de fuerza de dicho campo; veamos la Figura N° 5

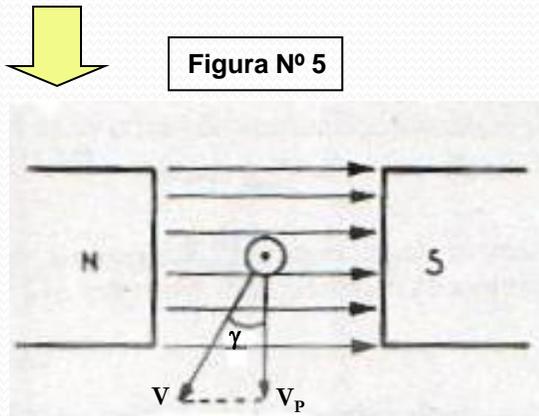


Figura N° 5

En la figura N° 5, el conductor se mueve dentro del campo con una velocidad lineal “ v ”, sobre una trayectoria que forma un ángulo “ γ ” respecto de la perpendicular a las líneas de fuerza. Como para producir una Fem inducida debemos mover el conductor perpendicularmente, descomponemos el vector velocidad “V” en su componente perpendicular “V_p” que aplicando trigonometría resulta la expresión de la figura N° 5; es decir: $V_p = V \cdot \cos \gamma$

$$V_p = V \cdot \cos \gamma \quad (a)$$

La Fem inducida en el conductor está dada por la expresión:

$$e = B \cdot L \cdot V_p \quad (I)$$

Reemplazando el valor de V_p por la expresión (a) tenemos:

$$e = B \cdot L \cdot V \cdot \cos \gamma \quad (b)$$

En esta última expresión es:

e = Fem (en voltios) inducida en el conductor debido a su movimiento dentro del campo magnético.-

B = Inducción magnética (en Tesla).-

L = Longitud del conductor (en metros).-

V = velocidad de desplazamiento del conductor (en m/s).-

$\cos \gamma$ = coseno del ángulo con que se mueve el conductor respecto de la perpendicular a las líneas de fuerza del campo magnético.-

2) CONTINUAMOS.... ¿QUE PASA, POR LO TANTO, EN LAS POSICIONES INTERMEDIAS?.....



En la descripción anterior tomamos una trayectoria rectilínea de movimiento del conductor en el campo magnético; pero en el generador esta trayectoria del conductor (espira) es circular; entonces cabe preguntarnos: ¿cambia el concepto al ser la trayectoria circular?. La respuesta es NO, pues podemos suponer (Matemática II) que en cada punto de la trayectoria circular el conductor describe un “camino recto” infinitamente pequeño donde la espira posee una cierta Velocidad Tangencial (V_T); este concepto se representa en la Figura N° 6.-

El conductor gira con una velocidad angular “ ω ”.
En el instante que está en la posición “A” tiene una velocidad tangencial “ V_T ”.
Descomponemos la V_T en su componente perpendicular (V) a las L. de F.

De acuerdo con la descripción anterior y aplicando las ecuaciones conocidas tendremos:

$$e = B \cdot L \cdot V_T \Rightarrow \text{reemplazando } V_T : \quad e = B \cdot L \cdot V \cdot \cos \gamma \quad (c)$$

Aplicando conceptos de triángulos semejantes y funciones trigonométricas, resulta que:

$\cos \gamma = \text{sen } \alpha \Rightarrow$ en la ecuación (c) podemos reemplazar, resultando:

$$e = B \cdot L \cdot V \cdot \text{sen } \alpha \quad (II)$$

Si recordamos la expresión (I) que relacionaba el ángulo recorrido “ α ” con la velocidad angular “ ω ” y el tiempo “ t ”; podemos hacer:

$\omega = \alpha / t \Rightarrow \alpha = \omega \cdot t$; y además, siendo los valores de B, L y V constantes en un generador, la expresión (II) nos queda:

$$e = E_{MAX} \cdot \text{sen } \omega t \quad (III)$$

Nota: ω recibe el nombre de “pulsación de la corriente alterna”

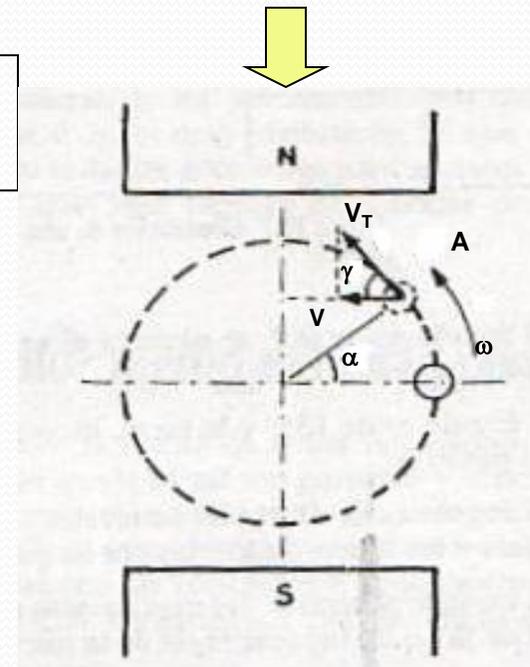


Figura N° 6

3) FINALMENTE: VEAMOS EL PROCESO COMPLETO DE GENERACIÓN DE C.A.....

Los análisis y conceptos anteriores nos permitieron arribar a la descripción inicial de la generación de una Fem inducida en un conductor debido al movimiento de éste dentro de un campo magnético.

El conductor realizaba un movimiento circular y la Fem inducida en todo instante del giro se podía obtener mediante la expresión matemática (III) en función del ángulo de posición del conductor. Veamos finalmente para varias posiciones características de la espira, las variaciones en el valor de la Fem inducida; para ello nos apoyaremos en la Figura N° 7

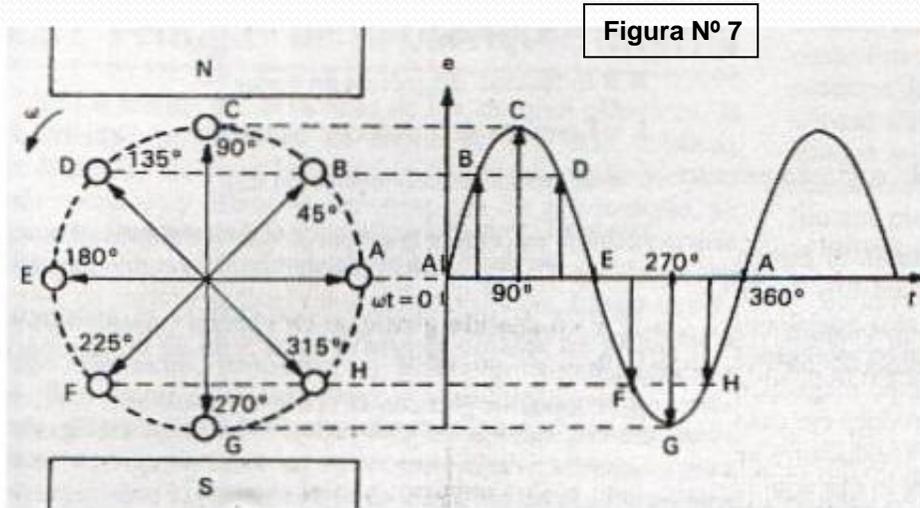


Figura N° 7

Para recordar: de acuerdo con la “Ley de Faraday”:

$$e = N \cdot (\Delta\Phi / \Delta t) = B \cdot L \cdot V \quad \text{siendo:}$$

e= Fem inducida.-

$\Delta\Phi$ = variación del flujo - N= cantidad de espiras o conductores - L= Longitud de los conductores V = velocidad perpendicular a las L.deF. del campo - B= inducción magnética

Las Posiciones Características:

Partiendo de que: $e = E_{MAX} \cdot \text{sen } \alpha = E_{MAX} \text{ sen } \omega t$

Punto A: El conductor se mueve en dirección paralela a las L.deF. $\Rightarrow \alpha = 0^\circ \Leftrightarrow e = 0$.-

Punto B: $\alpha = 45^\circ \Rightarrow e = +E_{MAX} \text{ sen } 45^\circ$.-

Punto C: $\alpha = 90^\circ \Rightarrow e = E_{MAX} \text{ sen } 90^\circ \Leftrightarrow e = + E_{MAX}$.-

Punto D: $\alpha = 135^\circ \Rightarrow e = E_{MAX} \text{ sen } 135^\circ$.-

Punto E: $\alpha = 180^\circ \Rightarrow e = E_{MAX} \text{ sen } 180^\circ \Leftrightarrow e = 0$

Punto F: $\alpha = 225^\circ \Rightarrow e = E_{MAX} \text{ sen } 225^\circ \Leftrightarrow$

se invierte el sentido de desplazamiento del conductor y por lo tanto el de la Fem “e” (regla de la mano derecha); además es: $\text{sen } 225^\circ = - \text{sen } 45^\circ \Rightarrow e = - E_{MAX} \text{ sen } 45^\circ$.-

Punto G: $\alpha = 270^\circ \Rightarrow e = E_{MAX} \text{ sen } 270^\circ \Leftrightarrow e = -E_{MAX}$

Punto H: $\alpha = 315^\circ \Rightarrow e = E_{MAX} \text{ sen } 315^\circ \Leftrightarrow e = -E_{MAX} \text{ sen } 45^\circ$

Punto A: se ha completado un giro completo del conductor;

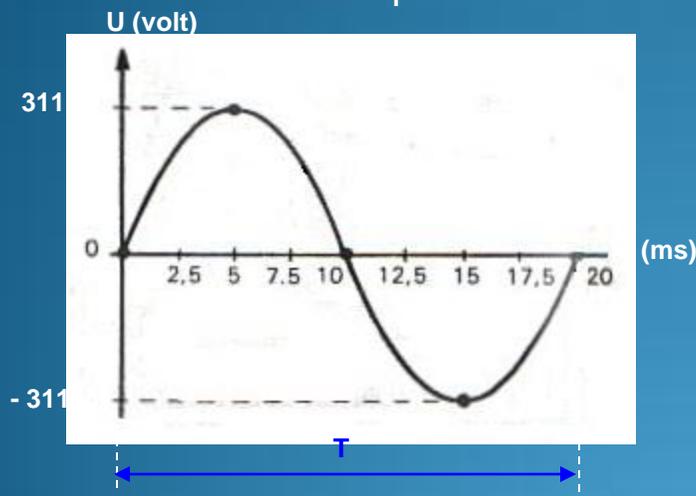
nuevamente tenemos: $\alpha = 0^\circ \Leftrightarrow e = 0$.-

LA CORRIENTE ALTERNA (CA) Y SUS VALORES CARACTERÍSTICOS.....

Al desarrollar los principios de generación de la corriente alterna, habíamos concluido que los valores que adquiría variaban en función de: el tiempo, o bien del ángulo de giro del conductor dentro del campo magnético del generador; debido a esto, es que representábamos finalmente la tensión alterna generada mediante una gráfica correspondiente a una función senoidal tal como indicamos en la figura N° 1.....



Figura N° 1



La figura N° 1 representa la senoide de la tensión alterna que, como ya mencionamos, toma esta forma debido a que los valores en cada instante de tiempo dependen del ángulo “ α ” girado por la espira conductora.

Para estudiar estos valores, y por la familiaridad a la que estamos habituados, tomaremos como ejemplo la corriente alterna que disponemos en nuestras viviendas; esto es una corriente alterna monofásica de 220 voltios y de una frecuencia de 50 Ciclos (o Hz).

Precisamente, en la figura N° 1 hemos reproducido los valores característicos de esta de corriente alterna tal como la veríamos en la pantalla de un osciloscopio.

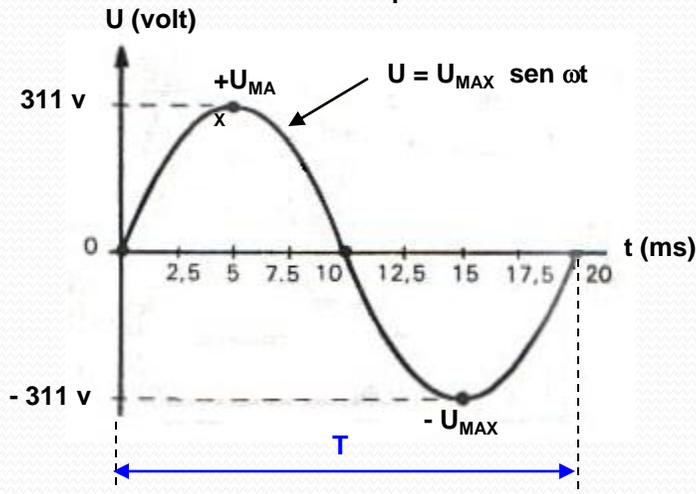
A continuación desarrollaremos la definición de cada uno de ellos, su incidencia en los sistemas eléctricos y las expresiones que nos permiten determinarlos.

La curva senoidal indicada en la Figura N° 1, representa todos los valores que toma la tensión alterna generada durante una vuelta completa del conductor dentro del campo magnético del generador; esta gráfica corresponde a lo que se denomina : 1 Ciclo de la Corriente Alterna

(continuación) LA CORRIENTE ALTERNA (CA) Y SUS VALORES CARACTERÍSTICOS.....

Para una mejor comprensión, repitamos nuevamente la Figura N° 1....

Figura N°



2) VALOR MÁXIMO:

Se define como “Valor Máximo” de la tensión alterna, al mayor de todos los valores que puede tomar durante un ciclo o recorrido de la senoide.

Como podemos ver, durante cada ciclo, la tensión es dos veces nula y dos veces máxima; pero en este último caso adopta sentidos opuestos ($+U_{MAX}$ y $-U_{MAX}$).

Para el caso de la CA de 220 voltios, los valores máximos son: $+311$ y -311 voltios respectivamente.

VALORES CARACTERÍSTICOS

1) VALOR INSTANTÁNEO:

Es el valor que toma la tensión en cada instante de tiempo siguiendo la función senoidal.-

El valor instantáneo está dado por la expresión:

$$U = U_{MAX} \text{ sen } \omega t$$

En la figura N° 1, son todos los valores comprendidos entre 0 y 311 voltios; y entre 0 y -311 voltios.

3) VALOR EFICAZ:

Dado que la CA cambia de valores constantemente, se hace necesario establecer un valor intermedio que la represente a la tensión para realizar los cálculos y mediciones en los sistemas eléctricos; este valor intermedio de tensión se lo denomina: “Valor Eficaz de la Tensión Alterna”.-

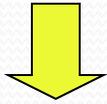
En nuestro caso, para la tensión de alimentación domiciliaria, precisamente el Valor Eficaz es el comúnmente conocido por nosotros; esto es: 220 voltios.

También se la define como: aque valor de tensión que en la mismas condiciones produce los mismos efectos caloríficos (Joule) en una resistencia eléctrica que una tensión continua del mismo valor.

Para la CA senoidal, el valor de la Tensión Eficaz se calcula mediante la expresión:

$$U_{ef} = \frac{U_{MAX}}{\sqrt{2}}$$

(continuación) LA CORRIENTE ALTERNA (CA) Y SUS VALORES CARACTERÍSTICOS.....



Continuando sobre la base gráfica de la Figura N° 1,



Hasta aquí hablamos de la tensión alterna y sus valores característicos, pero....¿qué sucede con la intensidad de la corriente (I) que circula por un componente eléctrico conectado a esta tensión alterna?.....

VALORES CARACTERÍSTICOS

4) VALOR MEDIO DEL CICLO COMPLETO:

Si realizamos hipotéticamente la medición de todos los valores que toma la tensión a lo largo de un ciclo completo, puesto que la mitad son positivos y la otra mitad son negativos, el resultado sería:

$$U_{MED} = 0 \text{ voltios}$$

Es por esto que, como un aparato de medición de CC mide exclusivamente el valor medio, al realizar una medición en CA con un voltímetro o amperímetro de CC, obtendremos una medida de " 0 " como valor medido.



VALORES CARACTERÍSTICOS DE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE ALTERNA:

Puesto que la tensión es alterna, la intensidad de la corriente circulante, obviamente, será alterna; y consecuentemente presenta los mismos valores característicos de la tensión; así tendremos:

$$i = I_{MAX} \text{ sen } \omega t_1 \quad \text{Valor Instantáneo (}^1\text{)}$$

$$+I_{MAX} \text{ y } -I_{MAX} \quad \text{Valores Máximos}$$

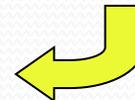
$$I_{MED} = 0 \quad \text{Valor Medio}$$

$$I_{EF} = I_{MAX} / \sqrt{2} \quad \text{Valor Eficaz}$$

(¹) Nota: más adelante, en los circuitos básicos de CA, veremos que características y relaciones se manifiestan entre los valores del seno correspondientes a la tensión (U) e intensidad de corriente (I).

RECORDAR SIEMPRE:

Los instrumentos de medición de corriente alterna miden/indican el VALOR EFICAZ de la variable eléctrica medida.-



.....DOS MAGNITUDES TAMBIÉN FUNDAMENTALES DE LA CORRIENTE ALTERNA: Período y Frecuencia.

Cuando describimos la generación de la CA y además en los conceptos explicados anteriormente definimos que la curva senoidal representa todos los valores que toma la tensión alterna generada durante una vuelta completa del conductor e indicamos esta gráfica corresponde a lo que se denomina : 1 Ciclo de la Corriente Alterna.

Resumiendo: *en cada vuelta del generador (o bien de la espira conductora) se produce "un ciclo" de la tensión alterna.*
Puesto que este ciclo demanda un cierto tiempo, definimos

PERÍODO DE LA CORRIENTE ALTERNA:

Es el tiempo que transcurre en un ciclo completo.

El "Período" se indica por la letra "T" y se mide en segundos.-

UN EJEMPLO "BARATO":

Supongamos que un alternador gira a una velocidad de 50 revoluciones por segundo; nos preguntamos:

- 1) ¿Cuánto tiempo tardará en dar cada vuelta el rotor del generador?
- 2) ¿Cuál será el tiempo que demora la corriente generada en cumplir un ciclo?

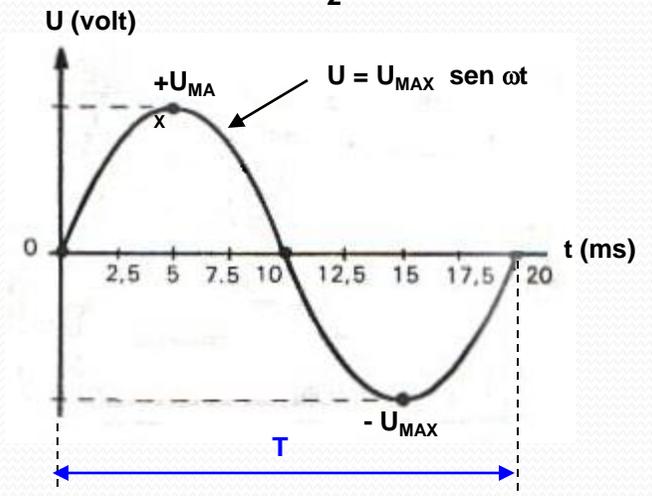
Veamos:

Si el rotor gira 50 vueltas en cada segundo, el tiempo que demandará en girar una vuelta será:

$$t = 1 \text{ seg.} / 50 \text{ vueltas} = 0,02 \text{ seg.}$$

Si recordamos que en cada vuelta del generador se cumple un ciclo, y a su vez tarda 0,02 seg. en dar una vuelta, entonces el tiempo que le demanda a la corriente eléctrica en cumplir un ciclo será precisamente estos 0,02 seg.; **pero como el tiempo que transcurre para describir un ciclo es el Período (T), concluimos que el periodo de la corriente alterna generada es : T = 0,02 segundos**

Figura N°
2





FIN

SUPPICICH MARIO LUIS-OLSSON JORGE
ALBERTO